

# 대한민국 특허청

## KOREAN INTELLECTUAL PROPERTY OFFICE

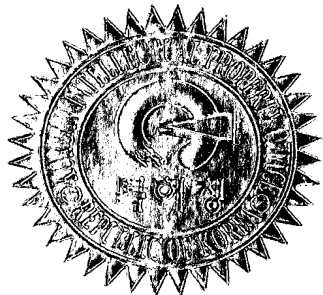
별첨 사본은 아래 출원의 원본과 동일함을 증명함.

This is to certify that the following application annexed hereto  
is a true copy from the records of the Korean Intellectual  
Property Office.

출원번호 : 10-2003-0022109  
Application Number

출원년월일 : 2003년 04월 08일  
Date of Application APR 08, 2003

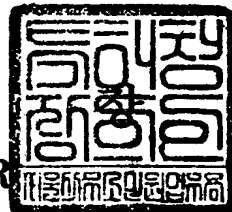
출원인 : 한국원자력연구소  
Applicant(s) KOREA ATOMIC ENERGY RESEARCH INSTITUTE



2003      년      05      월      29      일

특      허      청

COMMISSIONER



## 【서지사항】

【서류명】	특허출원서
【권리구분】	특허
【수신처】	특허청장
【제출일자】	2003.04.08
【발명의 명칭】	비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로
【발명의 영문명칭】	PRESSURIZED LIGHT WATER REACTOR HAVING FLOW CONVERTING GROOVES FOR EMERGENCY CORE COOLING WATER
【출원인】	
【명칭】	한국원자력연구소
【출원인코드】	3-1998-007760-9
【대리인】	
【성명】	이원희
【대리인코드】	9-1998-000385-9
【포괄위임등록번호】	2002-039963-1
【발명자】	
【성명의 국문표기】	권태순
【성명의 영문표기】	KWON, Tae-Soon
【주민등록번호】	620310-1056434
【우편번호】	302-795
【주소】	대전광역시 서구 정림동 우성아파트 127-101호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	송철화
【성명의 영문표기】	SONG, Chul-Hwa
【주민등록번호】	590614-1350820
【우편번호】	302-772
【주소】	대전광역시 서구 둔산1동 크로바아파트 117-305호
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	백원필
【성명의 영문표기】	BAEK, Won-Pil
【주민등록번호】	610505-1481117

【우편번호】	305-761
【주소】	대전광역시 유성구 전민동 엑스포아파트 305-1503
【국적】	KR
【발명자】	
【성명의 국문표기】	박종균
【성명의 영문표기】	PARK, Jong-kyun
【주민등록번호】	511123-1009612
【우편번호】	306-777
【주소】	대전광역시 대덕구 송촌동 선비마을아파트 308-1804호
【국적】	KR
【심사청구】	청구
【취지】	특허법 제42조의 규정에 의한 출원, 특허법 제60조의 규정에 의한 출원심사를 청구합니다. 대리인 이원희 (인)
【수수료】	
【기본출원료】	20 면 29,000 원
【가산출원료】	10 면 10,000 원
【우선권주장료】	0 건 0 원
【심사청구료】	6 항 301,000 원
【합계】	340,000 원
【감면사유】	정부출연연구기관
【감면후 수수료】	170,000 원
【첨부서류】	1. 요약서·명세서(도면)_1통

## 【요약서】

## 【요약】

본 발명은 비상노심냉각수 직접주입방식의 가압경수로형 원자로에 관한 것으로서, 저온관 파단 사고시 강수부에 주입되는 비상노심냉각수가 고속의 횡방향 증기유동에 휩쓸려 우회배출되는 것을 감소시키기 위해, 압력용기의 내주면 및 노심배럴의 외주면에 각각 원주방향으로 소정의 간격을 갖도록 수직으로 설치되는 다수의 'V'자형 요철봉을 포함하여, 인접하는 두 개의 요철봉 사이에 각각 하나씩 형성되는 다수의 그루브를 구비하는 형태로 이루어져, 그루브에 정체와류가 발생하도록 하고 중력에 의해 그루브를 따라 강수부 하부로 하강하도록 하여 비상노심냉각수의 우회배출비율을 감소시킬 수 있으며, 따라서, 저온관 파단에 따른 대형냉각수상실사고시에 보다 많은 비상노심냉각수를 노심에 도달할 수 있게 되어 최대 핵연료피복관 온도를 저하시키고 노심의 재가열을 방지할 통한 안전성 확보가 가능한 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로를 제공한다.

## 【대표도】

도 4a

## 【색인어】

비상노심냉각수, 요철봉, 그루브, 우회배출비율, 횡방향 증기유동

**【명세서】****【발명의 명칭】**

비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로(PRESSURIZED LIGHT WATER REACTOR HAVING FLOW CONVERTING GROOVES FOR EMERGENCY CORE COOLING WATER)

**【도면의 간단한 설명】**

도 1은 종래기술에 따른 비상노심냉각수 저온관 주입방식의 가압경수로형 원자로의 평단면 및 종단면구조를 개략적으로 도시한 개념도,

도 2는 종래기술에 따른 직접주입방식의 가압경수로형 원자로의 평단면 및 종단면 구조를 개략적으로 도시한 개념도,

도 3은 저온관 파단 사고시 종래기술에 따른 직접주입방식의 가압경수로형 원자로에 발생하는 횡방향 유동의 유동경로를 평단면 및 종단면에서 개략적으로 도시한 개념도.

도 4는 본 발명에 따른 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로를 개략적으로 도시한 도면으로서,

도 4a는 개략적 종단면도,

도 4b는 도 4a의 B-B선 부분 단면도.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 요철봉의 형상을 도시한 도면으로서,

도 5a는 평면도,

도 5b는 정면도,

도 5c는 일측 빗면을 도시한 정면도,

도 5d는 도 5a의 C부분 확대도.

도 6은 저온관 파단 사고시 본 발명의 실시예에 따른 가압경수로형 원자로의 압력 용기측 유동형태를 도시한 개념도.

도 7은 저온관 파단 사고시 본 발명의 실시예에 따른 가압경수로형 원자로의 노심 배럴측 유동형태를 도시한 개념도.

도 8은 정상운전시 본 발명에 따른 가압경수로형 원자로의 냉각수 유동경로를 평단면 및 종단면에서 개략적으로 도시한 개념도.

도 9는 정상운전시 본 발명의 실시예에 따른 가압경수로형 원자로의 노심배럴측 유동형태를 도시한 개념도.

\*도면의 주요부분에 대한 부호의 설명\*

5: 압력용기      7: 노심

10: 노심배럴      15: 저온관

20: 강수부      25: 고온관

30: 비상노심냉각수주입관      50: 요철봉

55: 빗면      60: 그루브(groove)

65: 용접날개      70: 내부 공간

80: 관통구멍      90: 모서리

100: 원자로용기

## 【발명의 상세한 설명】

## 【발명의 목적】

## 【발명이 속하는 기술분야 및 그 분야의 종래기술】

<25> 본 발명은 가압경수로형 원자로의 비상냉각시스템에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 비상노심냉각수(Emergency Core Cooling Water)를 원자로용기의 강수부에 직접주입하는 방식의 가압경수로형 원자로에서, 저온관(Cold Leg)파단사고 발생시에 파단된 저온관 주변에 발생하는 고속의 횡방향 증기유동에 휩쓸려 파단면을 향하는 비상노심냉각수를 정체된 와류형태로 전환하고 동시에 정체와류를 중력에 의해 하강하도록 하여 비상노심냉각수의 우회배출비율을 감소시킴으로써 다량의 비상노심냉각수가 강수부 하부를 경유하여 노심에 도달할 수 있도록 하는 유동변환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로에 관한 것이다.

<26> 일반적인 가압경수로형 원자로는, 도 1에 도시한 바와 같이, 외부의 압력용기(5)와, 압력용기(5) 보다 작은 직경으로 형성되어 압력용기의 중심에 설치되는 노심배럴(10)로 구성되는 원자로용기(100)를 포함한다. 노심배럴(10)의 내부에는 핵연료봉이 장입되는 노심(Core)(7)이 위치하며, 노심배럴(10)과 압력용기(5) 사이에는 직경차이에 의한 고리형상의 공간인 강수부(20)가 형성된다. 그리고, 압력용기(5)에 연결되어 냉각수의 순환통로가 되는 다수의 저온관(15)과, 저온관(15)을 통해 유입되어 강수부(20)와 노심(7)을 지나면서 가열된 냉각수가 증기발생기쪽으로 흐르도록 노심배럴(10)에 연결되는 고온관(Hot Leg)(25)을 포함한 구성으로 이루어진다.

- <27> 이와 같은 가압경수로형 원자로는 고방사능물질인 핵연료를 에너지원으로 운전되는 시설로서, 사고시 많은 인명피해를 수반하는 대형참사로 이어질 수 있는 가능성이 있음에 따라 안전성을 확보하고자 설계에서 부터 건설 및 운전에 이르기까지 단계별로 매우 엄격한 안전기준을 통과해야만 한다.
- <28> 안전기준과 관련한 일 예로서, 종래 가압경수로형 원자로에 채택되고 있는 원자로 냉각계통에 대한 성능 및 안전성 검증은, 원자로의 설계인증시 및 한국안전기술원(KINS)과 같은 기관의 원자로 설계 및 건설 인허가 심사평가시에 기준으로 채택되고 있는 바와 같이, 사고시 가장 높은 핵연료 피복재온도를 보이는 저온관 양단 순시 파단사고(Double Ended Guillotine Break)에 따른 대형냉각재상실사고(LBLOCA; Large Break Loss-of-Coolant Accident)가 중요한 기준으로 평가된다. 여기서, 주요 평가기준은 사고시 최대 핵연료 피복재온도가 규제치보다 낮게 유지되는지 여부와, 노심의 냉각상태가 유지되는지 여부이다.
- <29> 이와 같은 기준을 만족시키기 위해, 가압경수로형 원자로는 비상노심냉각수를 주입하기 위한 비상노심냉각수주입관(30)을 구비하여, 저온관(15)이 파단되어 저온관(15)을 통해 공급되는 냉각수가 노심에 이르지 못하고 파단면(35)을 통해 냉각계통 밖으로 배출되는 저온관 양단 순시 파단사고와 같은 사고발생에 대비하고 있다.
- <30> 비상노심냉각수를 주입하는 방식의 일 예로서, 도 1에 도시된 바와 같이, 비상노심 냉각수를 저온관(15)에 주입하는 방식(CLI: Cold Leg Injection)이 있다. 이 방식에서는 비상노심냉각수주입관(30)이 저온관(15)에 연결되고, 따라서 저온관 양단 순시 파단사고시에 저온관(15)이 양단으로 완전히 절단됨에 따라 형성되는 파단면(35)을 통해 저온관(15)으로 흐르는 모든 유체가 원자로냉각계통 밖으로 배출된다. 즉, 파단 저온관(15)



에 주입되는 비상노심냉각수가 노심(7)의 냉각에 전혀 기여하지 못하고 파단면(35)을 통해 배출되는 비상노심냉각수 유출손실이 발생하는 문제점이 있었다.

<31>       상기한 문제점을 개선한 비상노심냉각수 주입 방식의 다른 일 예로서, 도 2에 도시한 바와 같이, 비상노심냉각수를 원자로용기(100)의 강수부(20)에 직접주입하는 방식(DVI:Direct Vessel Injection)이 있다. 즉, 비상노심냉각수를 저온관(15) 대신에 원자로 용기에 직접주입 함으로써 저온관 양단 순시 파단사고시 파단면(35)을 통해 냉각계통 밖으로 유출되었던 비상노심냉각수의 유출손실을 줄일 수 있도록 한 것이다. 대한민국 특허공개 제2001-76548호를 참조하면 이상과 같은 단순 직접주입방식의 가압경수로형 원자로에 관하여 더욱 자세히 알 수 있을 것이다.

<32>       그러나, 도 3에 도시한 바와 같이, 압력용기(5)와 노심베럴(10) 사이의 강수부(20)에서 저온관(15)의 파단면(35)으로 배출되는 고속의 횡증기유동에 이끌려 우회배출되는 비상노심냉각수의 비율이 증가하는 새로운 문제가 발생하게 된다. 즉, 저온관 주입 방식에서는 차가운 비상노심냉각수가 저온관(15)에 주입되어 증기응축량이 매우 큰 반면에, 원자로용기(100)에 직접주입하는 방식에서는 저온관 증기응축이 거의 발생하지 않으므로 저온관의 증기속도가 저온관 주입방식에서 보다 훨씬 더 빠르게 된다.

<33>       뿐만 아니라, 종래기술에 따른 일반적인 직접주입방식의 가압경수로형 원자로는, 원자로용기를 구성하는 압력용기(5)의 내측 벽면과 노심베럴(10)의 외측 벽면이 모두 매끈한 표면을 갖도록 형성됨에 따라, 비상노심냉각수의 벽면 이탈과, 수막 및 물덩어리가 고속의 횡방향 유동에 의해 파단면으로 쏠리는 현상이 매우 쉽게 나타남으로써, 비상노심냉각수주입관(30)의 주입노즐로부터 주입되는 비상노심냉각수가 파단 저온관(15)을 향하는 고속의 횡방향 증기유동에 쉽게 휩쓸리게 된다.

- <34> 따라서, 직접주입방식에서는 원자로용기(100)의 강수부(20)에서 비상노심냉각수가 고속의 횡방향 증기유동에 휩쓸려 파단면(35)으로 우회배출되는 비상노심냉각수 우회배출(ECC bypass) 비율이 증가하는 새로운 공학적 문제가 발생하게 되는 것이다.
- <35> 상기한 바와 같은 비상노심냉각수 우회배출비율 증가의 근본적 원인은 벽면으로부터 이탈된 수막이 물방울과 물덩어리 형태가 되어 고속의 횡유동에 쉽게 휩쓸리게 되는 유동의 구조적인 취약성이라 할 수 있다. 그러나, 저온관 파단 사고시 유발되는 고속의 강수부 횡유동을 근본적으로 차단시켜줄 공학적 방법은 없는 실정이다.
- <36> 비상노심냉각수 우회비율이 일정수준 이상으로 증가하게 되면 대형냉각재 상실사고(LBLOCA)의 후기 재관수 기간(Late Reflood Phase) 동안에 핵연료 피복재의 최고온도가 증가하고, 노심이 재가열되는 현상이 발생하여 원자로 안전에 심각한 문제를 일으키게 된다. 따라서, 노심(7)이 보다 안전한 냉각상태를 유지하기 위해서는 비상노심냉각수주입관(30) 측에 장착되는 펌프의 용량을 증대시켜 비상노심냉각수 주입유량을 증대시키거나, 비상노심냉각수 우회배출 비율을 감소시키기 위한 기술적 조치가 강구되어야 한다. 그러나, 비상노심냉각수 우회배출 비율을 감소시키지 못하게 된다면, 저온관 주입방식(CLI)에서 직접주입방식(DVI)으로 전환함에 따라 축소시켰던 비상노심냉각수공급용 펌프의 용량을 다시 증대시켜 주입유량을 증대시켜야 하므로 펌프용량 증대에 따른 경제적 손실을 초래하게 된다.
- <37> 이와 같이, 종래 직접주입방식은 저온관 주입방식의 대안으로 나온 것임에도 불구하고 여전히 비상노심냉각수의 우회배출 비율이 클 수 밖에 없었던 문제점이 있었으며, 따라서 강수부(20)의 고속증기에 비상노심냉각수가 휩쓸려 파단면(35)으로 우회배출되는

비상노심냉각수의 비율을 감소시켜 비상노심냉각수의 상실을 완화하는 것이 최대의 기술적 난제로 남아 있는 것이다.

**【발명이 이루고자 하는 기술적 과제】**

<38> 이상과 같은 종래기술의 문제점을 해소하기 위하여 발명한 것으로서,

<39> 본 발명의 목적은 저온관 파단 사고시 강수부에 주입되는 비상노심냉각수가 사고에 의해 발생하는 고속의 횡방향 증기유동에 휩쓸려 우회배출되는 것을 감소시키기 위해, 서로 대향하는 매끄러운 표면의 압력용기 및 노심배럴의 벽면에 고속의 횡방향유동의 전인력을 이용한 정체와류의 전환을 가능하게 하는 형상적인 변형요소를 부가하여 정체와류영역의 비상노심냉각수가 중력에 의해 강수부 하부로 추출되어 비상노심냉각수의 우회배출비율이 감소되도록 함으로써, 결과적으로 강수부를 통해 노심에 전달되는 비상노심냉각수를 증가시켜 핵연료 피복재의 최고온도를 저하시키고 노심의 재가열을 방지하여 원자로의 안전을 보장할 수 있는 개선된 비상노심냉각수 직접주입방식의 가압경수로형 원자로를 제공하는 것이다.

**【발명의 구성 및 작용】**

<40> 이를 실현하기 위한 본 발명은,

<41> 비상노심냉각수를 원자로용기에 직접주입하는 방식의 가압경수로형 원자로에 있어서,

- <42>      압력용기의 내주면 및 노심배럴의 외주면에 각각 원주방향으로 소정의 간격을 갖도록 수직으로 설치되는 다수의 요철봉을 구비하여, 인접하는 두 개의 요철봉 사이에 각각 하나씩 형성되는 다수의 그루브를 구비하는 것을 특징으로 하는 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로를 제공한다.
- <43>      여기서, 상기 요철봉은 수직이분선을 기준으로 구분되고 소정의 사잇각을 갖도록 형성되는 한 쌍의 빗면으로 구성되어 'V'자형의 단면형상을 갖도록 형성되며, 두 빗면 각각의 측단부에서 연장되는 용접날개를 구비하는 것을 특징으로 한다.
- <44>      그리고, 상기 요철봉은 각 빗면에 길이방향으로 소정의 간격을 갖도록 배열되는 다수의 관통구멍을 구비하고, 상기 관통구멍은 상기 빗면의 폭(h)의 1/2 크기의 직경을 구비하며 길이방향을 따라 인접하는 관통구멍의 중심간 거리가 빗면의 폭(h)과 동일한 간격으로 배열되는 것을 특징으로 한다.
- <45>      또한, 상기 요철봉은 저온관 직경의 7배 이상의 길이를 갖도록 형성되며, 저온관 중심선을 기준한 강수부 상부측과 강수부 하부측의 길이비가 4:3이 되도록 상기 압력용기의 내주면 또는 상기 노심배럴의 외주면에 설치되는 것을 특징으로 한다.
- <46>      이하, 본 발명의 바람직한 실시예를 첨부되는 도면에 의거하여 더욱 상세하게 설명한다. 참고로, 종래기술과 동일한 구성요소에 대하여 동일한 참조부호를 부여하기로 한다.
- <47>      본 발명에 따른 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로는 강수부(20)를 형성하는 압력용기(5) 및 노심배럴(10) 각각의 대향하는 두 벽면에 수직으로 설치되는

다수의 요철봉(50)을 구비한다. 요철봉(50)은 'V'자형의 단면형상을 갖도록 형성되어 압력용기(5) 및 노심배럴(10)의 각 벽면에 원주방향으로 소정의 간격을 갖도록 설치되며, 따라서 인접하는 요철봉사이에 각각 하나씩의 수직 그루브(groove)(60)를 구비하게 된다. 다시 말해, 대향하는 압력용기(5) 및 노심배럴(10)의 두 벽면에 다수의 'V'자형 요철봉(50)이 설치됨에 따른 다수의 그루브(60)를 구비하게 되는 것이다.

<48>       상기 요철봉(50)은 저온관 파단 사고시에 발생하는 고속의 횡방향 유동과 직각으로 위치하게 되는 것으로서, 요철봉(50)과 요철봉(50)사이의 그루브(60)는 비상노심냉각수를 포함한 횡방향 유동을 정체와류로 전환시키게 된다. 즉, 그루브(60) 내부에 정체된 상태로 회전하는 정체와류가 발생됨에 따라 횡방향 유동의 견인력이 저하되고, 따라서 횡방향유동에 포함된 물덩어리와 수막으로부터 유입되어 그루브(60) 내부에 정체된 상태로 회전하는 와류에 실려있는 비상노심냉각수가 중력에 의해 횡유동 방향과 수직인 그루브(60)를 따라 강수부 하부로 하강하도록 하는 것이다.

<49>       본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 직접주입방식의 가압경수로형 원자로는, 도 4에 도시한 바와 같이, 상호 대향하는 압력용기(5)의 내주면과 노심배럴(10)의 외주면에 원주방향을 따라 등간격으로 배열되는 다수의 'V'자형 요철봉(50)을 구비한다.

<50>       도 4 및 도 5에 도시한 바와 같이, 요철봉(50)은 두께 5mm 이하의 얇고 길쭉한 금속판재를 수직이분선을 기준으로 소정 각도의 사잇각을 갖도록 굽혀 'V'자형의 단면을 갖도록 형성한다. 따라서, 열팽창 및 수축에 따른 요철봉(50)의 뒤틀림을 방지할 수 있는 구조가 된다. 도 5a에 도시한 바와 같이, 수직이분선을 기준으로 구분되는 두 빗면(55)의 사잇각은 55°내지 65°의 범위에 속하는 가운데, 바람직하게는 60°의 사잇각을 갖도록 형성되어, 도 4b에 도시한 바와 같이, 요철봉(50)의 두 빗면(55)과 압력용기(5) 또

는 노심배럴(10)의 벽면으로 둘러싸이는 내부 공간(70)이 개략적으로 정삼각형의 단면형상을 갖도록 한다. 즉, 요철봉(50)의 내부는 빈 공간이며, 이 공간(70)은 횡방향유동의 영향이 극소화 된 상태에서 비상노심냉각수가 강수부 하부로 흘러내릴 수 있도록 하는 통로의 역할도 수행한다. 여기서, 빗면의 폭은 30mm 내지 50mm 의 범위내에서 결정된다.

<51> 일반적인 원자로에서 저온관 파단의 위치는 네 개의 저온관(15)에서 무작위로 발생할 수 있는 것이므로, 강수부(20)에서의 저온관 파단으로 인한 횡방향유동의 방향은 파단저온관(15)의 위치에 따라서 바뀔 수 있다. 따라서, 압력용기(5) 및 노심배럴(10)의 벽면에 설치되는 수직의 요철봉(50)은 양방향에 모두 적용가능하도록 상기한 바와 같이 대칭형으로 형성되는 것이다. 다시 말해, 도 5a에 도시한 바와 같이, 요철봉(50)의 두 빗면 사이에 60°의 사잇각을 갖도록 형성하는 경우, 요철봉(50)의 내부 공간(70)이 좌우 대칭의 정삼각형의 단면 형태가 되고, 횡방향 유동이 시계방향인가 또는 시계반대방향인가와 무관하게 횡방향 유동과 횡유동과 부딪히는 요철봉(50)의 일측 빗면(55)간에 형성되는 받음각은 60°로 동일하게 된다.

<52> 요철봉(50)의 양측 빗면(55)에는, 도 5b 및 도 5c에 도시한 바와 같이, 각각 소정의 직경으로 형성되고 소정의 간격으로 배열되는 다수의 관통구멍(80)이 형성된다. 바람직하게는, 도 5c에 도시한 바와 같이, 빗면의 폭(h)의 1/2 크기의 직경(D)을 갖는 다수의 관통구멍(80)이 형성되며, 각 빗면에 길이방향을 따라 인접하는 관통구멍(80)의 중심 간 거리가 빗면의 폭(h)에 해당하는 간격을 갖도록 배열된다.

<53> 이와 같이, 관통구멍(80)을 구비함에 따라, 압력용기(5)의 내주면과 요철봉(50)의 두 빗면(55)으로 둘러싸인 내부 공간(70) 및 노심배럴(10)의 외주면과 요철봉의 두 빗면

(55)으로 둘러싸인 내부 공간(70)에서의 증기수축 및 응축 현상에 의한 수격현상을 방지하고, 열팽창에 의한 요철봉(50)의 신축특성을 개선한다.

<54> 그리고, 두 빗면(55)이 교차하는 수직이분선 부분의 모서리(90)는, 도 5d에 도시한 바와 같이, 모각기(fillet)된 형태로 둥글게 형성되어 소성과괴 현상이 방지되도록 한다.

<55> 그리고, 요철봉(50)은 두 빗면(55) 각각의 측단부에서 연장되는 형태의 용접날개(65)를 구비하여 압력용기(5) 및 노심배럴(10)의 벽면에 용접될 때 우수한 용접특성을 갖게 된다. 여기서, 용접날개(65)의 폭은 5mm 정도로 형성된다.

<56> 또한, 요철봉(50)은 저온관(15) 직경의 7배 이상이 되는 길이를 갖도록 형성되는 것이 바람직하다.

<57> 상기한 바와 같은 요철봉(50)은 저온관 중심선을 기준으로 강수부 상부와 강수부 하부로 연장되는 길이비가 4:3을 유지하도록 설치된다. 예를 들어, 요철봉(50)의 길이가 저온관 직경의 7배인 경우, 저온관 중심선을 기준으로 상부의 길이가 저온관 직경의 4배이고, 하부의 길이가 3배가 되도록 설치되는 것이다. 동시에, 각 벽면에 원주방향으로 등간격으로 설치하되, 인접하는 요철봉(50)의 각 수직이분선간의 간격이 빗면 길이(h)의 1.5배가 되도록 설치한다.

<58> 이하, 이상과 같은 본 발명에 따른 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로에서의 냉각수 유동에 관하여 설명한다.

- <59>      압력용기(5) 및 노심베럴(10)의 벽면에 수직으로 설치되는 요철봉(50)은, 도 3에 도시한 바와 같은 저온관 파단 사고시에 발생하는 저온관 증기제트에 의한 고속의 횡방향 유동과 수직으로 교차하여 인접하는 요철봉(50) 사이에 형성되는 그루브(60) 내부에 정체와류를 발생시키는 역할을 수행하여 강수부(20) 하부에 도달하는 비상노심냉각수의 양적 증가에 따른 우회배출비율 감소가 가능하게 한다.
- <60>      원자로 용기(100)를 구성하는 압력용기(5)와 노심베럴(10) 사이의 강수부(20)는 고리형의 단면형상을 갖고 있는 것으로서, 저온관(15) 파단시 발생하는 횡방향 유동에 자체의 곡률에 의한 원심력이 작용하여 내부에 밀도차가 발생한다. 이 때, 도 6에 도시한 바와 같이, 밀도가 높은 비상노심냉각수가 강수부(20) 외측의 압력용기(5)에 설치된 요철봉(10)사이의 그루브(60)에 축적되어 제자리에서 회전하는 정체와류(Stagnant Vortex)가 발생하게 되는 것이다.
- <61>      또한, 도 7에 도시한 바와 같이, 저온관 파단 사고시 유발되는 횡방향 유동은 강수부 내측의 노심베럴(10)에 설치된 요철봉(50) 사이의 그루브(60) 전후에도 정체와류를 형성시키게 된다. 물론, 원심력에 의한 밀도차로 인해 압력용기(5) 측에 비해 노심베럴(10)측의 그루브(60)에 축적되는 비상노심냉각수의 양이 적게 된다.
- <62>      이와 같이, 압력용기(5)의 그루브와 노심베럴(10)의 그루브(60)에 형성되는 정체와류에 포함된 비상노심냉각수는 횡방향 유동에 의한 횡방향 견인력이 상실된 정체상태로 그루브(60) 내부에 머물게 되므로, 그루브(60) 내부에는 비상노심냉각수가 중력에 의해 쉽게 강수부 하부로 낙하하게 되는 '중력펌프' 현상이 발생하게 된다.



- <63> 이와 같은 원리로 고속의 횡방향 유동에 휩쓸려 파단 저온관의 파단면으로 우회배출되던 비상노심냉각수가 강수부(20)의 대향하는 두 벽면에 형성되는 그루브(60) 내에 와류형태로 정체되고, 결국 중력에 의해 강수부 하부로 하강하게 되는 것이다.
- <64> 반면에, 원자로가 정상운전되는 상황에서도, 도 8 및 도 9에 도시한 바와 같이, 수직의 그루브(60)에 나란하게 강수부 유동이 형성되므로, 원자로의 정상운전시 강수부 유동저항에 미치는 영향이 거의 없게 된다. 즉, 저온관(15) 파단이 발생하지 않은 상태의 정상적인 강수부 유동은 저온관으로부터 강수부(20)에 유입된 냉각수가 강수부 하부를 거쳐 노심(7)으로 유입되어, 노심(7)에서 가열된 후 고온관(도 1 및 도 2 참조)으로 빠져 나가게 된다. 다시 말해, 압력용기(5) 및 노심베럴(10)에 구비된 그루브(60)의 방향이 정상운전상태에서 발생하는 강수부의 주유동 방향과 일치하여 요철봉(50)이 큰 유동저항요소로 작용하지 못한다는 것이다.
- <65> 정리하면, 저온관 파단 사고시 발생하는 고속의 횡방향 유동이 요철봉(50)과 요철봉 사이의 그루브(60)에 형성하는 와류는 저속의 경계후류유동(Boundary-Wake)장에 놓여 횡유동 속도가 현저히 작아지고, 횡유동 방향과 수직이고 동시에 그루브 축선과 나란한 회전축을 갖는 정체상태(Stagnant)가 되어, 이 와류에서는 비상노심냉각수를 파단면으로 이끌고 나가려는 횡방향 견인력이 거의 상실되게 된다.
- <66> 또한, 원자로용기(100)의 강수부(20) 곡률 때문에 발생하는 원심력이 횡방향 유동에 작용하여 밀도차가 발생함으로써 상대적으로 많은 양의 비상노심냉각수가 압력용기(5)측의 그루브에 축적되어 정체와류 형태로 그루브(60) 내부에 위치하게 된다. 이와 같이 정체와류에 포함된 비상노심냉각수는 횡방향 견인력이 상실된 상태임에 따라 중력에

의해 쉽게 강수부 하부쪽으로 떨어지는 중력펌프현상의 영향을 받게 되어 강수부 하부로 침투하게 된다.

<67> 결론적으로, 고속의 횡방향 유동에 휩쓸려 배출되던 비상노심냉각수를 요철봉(50) 사이에 형성되는 그루브(60)를 통해 횡방향 유동으로부터 분리추출 (Phase Separation) 시킴으로써, 그 만큼 비상노심냉각수의 우회비율이 감소하고, 보다 많은 비상노심냉각수가 강수부 하부를 거쳐 노심(7)에 도달할 수 있게 된다는 것이다.

#### 【발명의 효과】

<68> 이상과 같은 본 발명에 따른 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로를 제공함으로써, 저온관 파단 사고시 고속의 횡방향 유동에 휩쓸려 파단면으로 배출되는 비상노심냉각수를 다시 추출하여 강수부 하부로 재침투시킴으로써 비상노심냉각수의 우회배출비율을 감소시킬 수 있도록 한다. 따라서, 저온관 파단에 의한 대형냉각재상실사고시 안전규제기관의 주된 관심사인 최대 핵연료 피복재온도 증가를 억제하고 후기 재관수 기간 동안의 노심 재가열 현상을 방지하여 원자로의 열수력적 안전성을 향상시키고, 동시에 비상노심냉각수 우회비율 증가에 따라 용량을 증가시킬 수 밖에 없는 비상노심냉각수 주입펌프의 용량을 역으로 감소시킬 수 있게 되어 경제성을 향상시킬 수 있게 된다.

<69> 이상에서 본 발명은 특정의 실시예와 관련하여 도시 및 설명하였지만, 첨부된 특허 청구범위에 의해 나타난 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 한도

내에서 다양한 변경, 개조 및 변화가 가능하다는 것을 당업계에서 통상의 지식을 가진자라면 누구나 쉽게 알 수 있을 것이다.

**【특허청구범위】****【청구항 1】**

비상노심냉각수를 원자로용기에 직접주입하는 방식의 가압경수로형 원자로에 있어서,

압력용기(5)의 내주면 및 노심배럴(10)의 외주면에 각각 원주방향으로 소정의 간격을 갖도록 수직으로 설치되는 다수의 요철봉(50)을 구비하여, 인접하는 두 개의 요철봉(50) 사이에 각각 하나씩 형성되는 다수의 그루브(60)를 구비하는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

**【청구항 2】**

제 1항에 있어서,

상기 요철봉(60)은 수직이분선을 기준으로 구분되고 소정의 사잇각을 갖도록 형성되는 한 쌍의 빗면(55)으로 구성되어 'V'자형의 단면형상을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

**【청구항 3】**

제 2항에 있어서,

상기 요철봉(50)은 두 빗면(55) 각각의 측단부에서 연장되는 용접날개(65)를 구비하는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

**【청구항 4】**

제 2항에 있어서,

상기 요철봉(50)은 각 빗면(55)에 길이방향으로 소정의 간격을 갖도록 배열되는 다수의 관통구멍(80)을 구비하는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

**【청구항 5】**

제 4항에 있어서,

상기 관통구멍(80)은 상기 빗면의 폭(h)의 1/2 크기의 직경을 구비하며, 길이방향을 따라 인접하는 관통구멍(80)의 중심간 거리가 빗면의 폭(h)과 동일한 간격으로 배열되는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

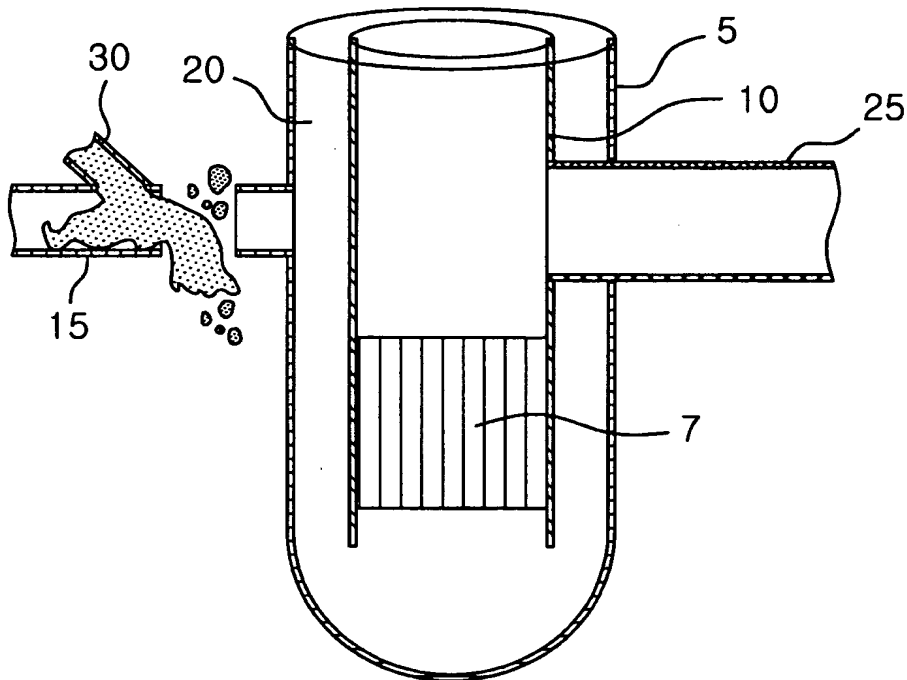
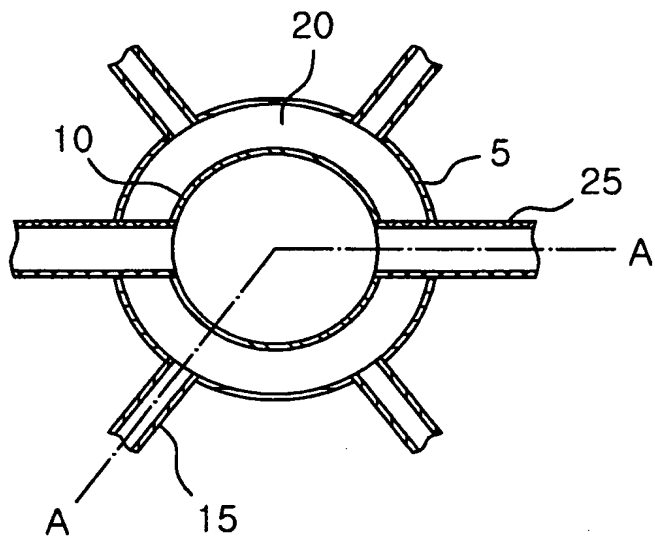
**【청구항 6】**

제 1항에 있어서,

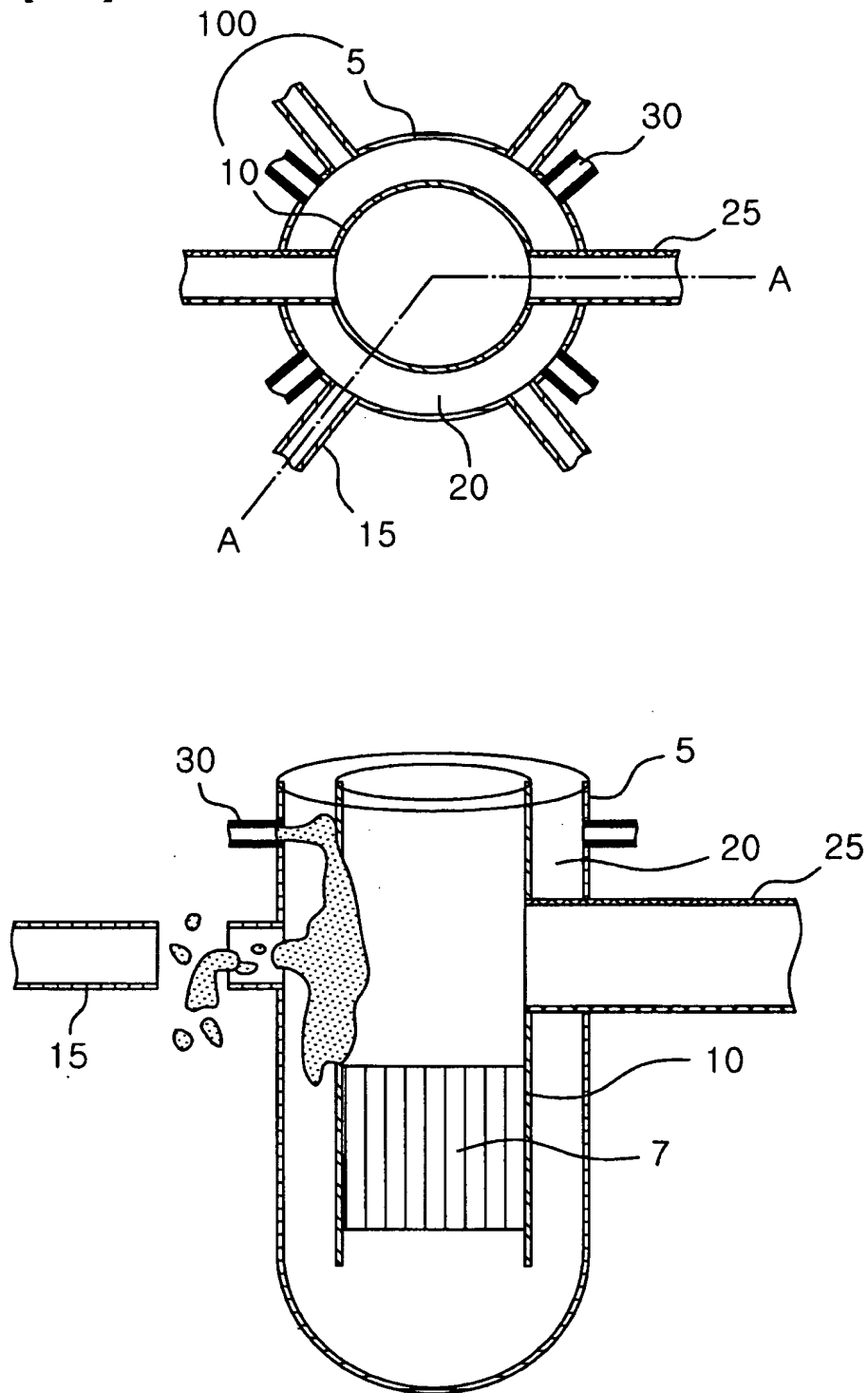
상기 요철봉(50)은 저온관(15) 직경의 7배 이상의 길이를 갖도록 형성되며, 저온관 중심선을 기준한 강수부 상부측과 강수부 하부측의 길이비가 4:3이 되도록 상기 압력용기(5)의 내주면 또는 상기 노심배럴(10)의 외주면에 설치되는 것을 특징으로 하는 비상노심냉각수 유동전환용 그루브를 구비한 가압경수로형 원자로.

【도면】

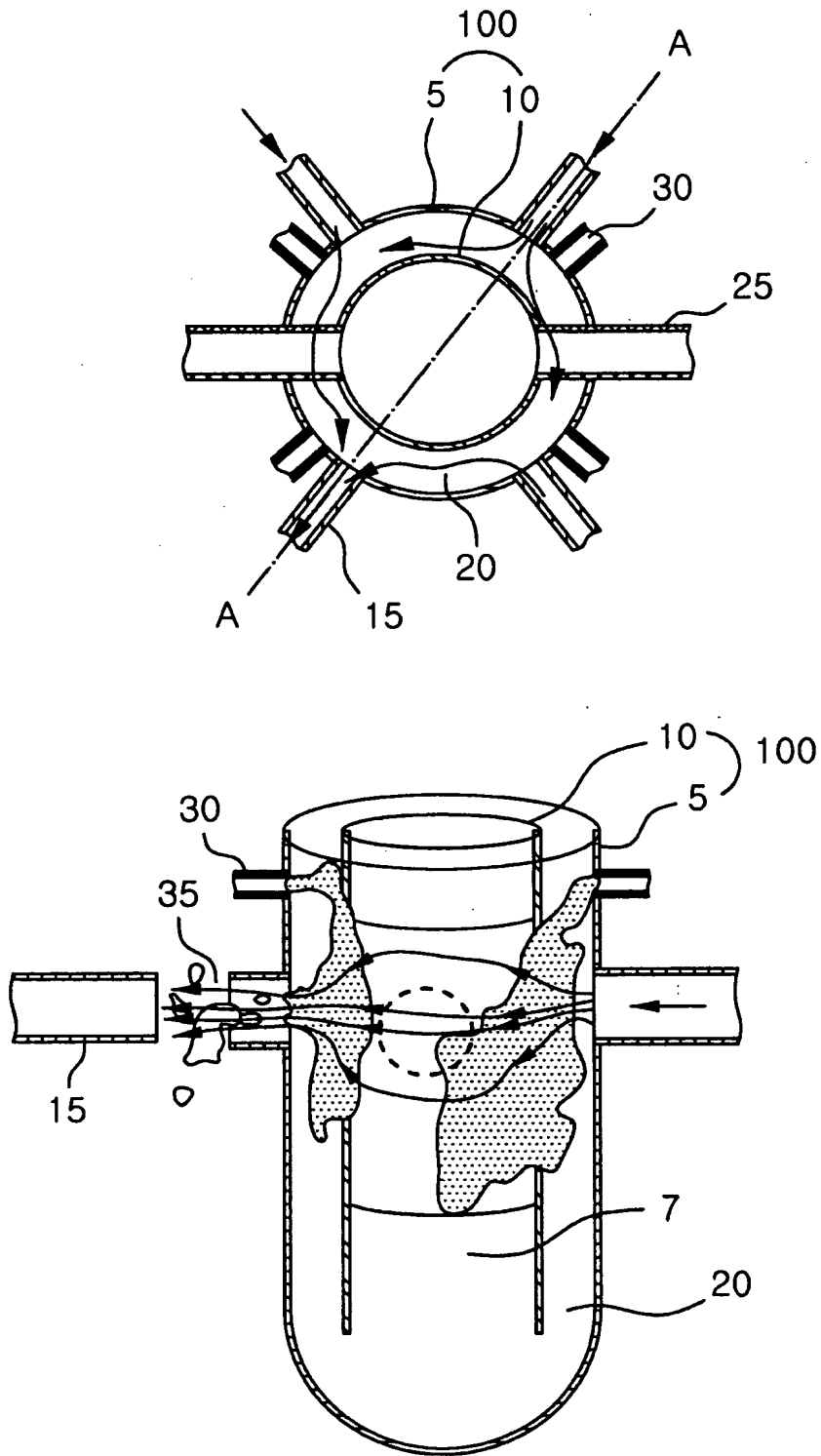
【도 1】



【도 2】

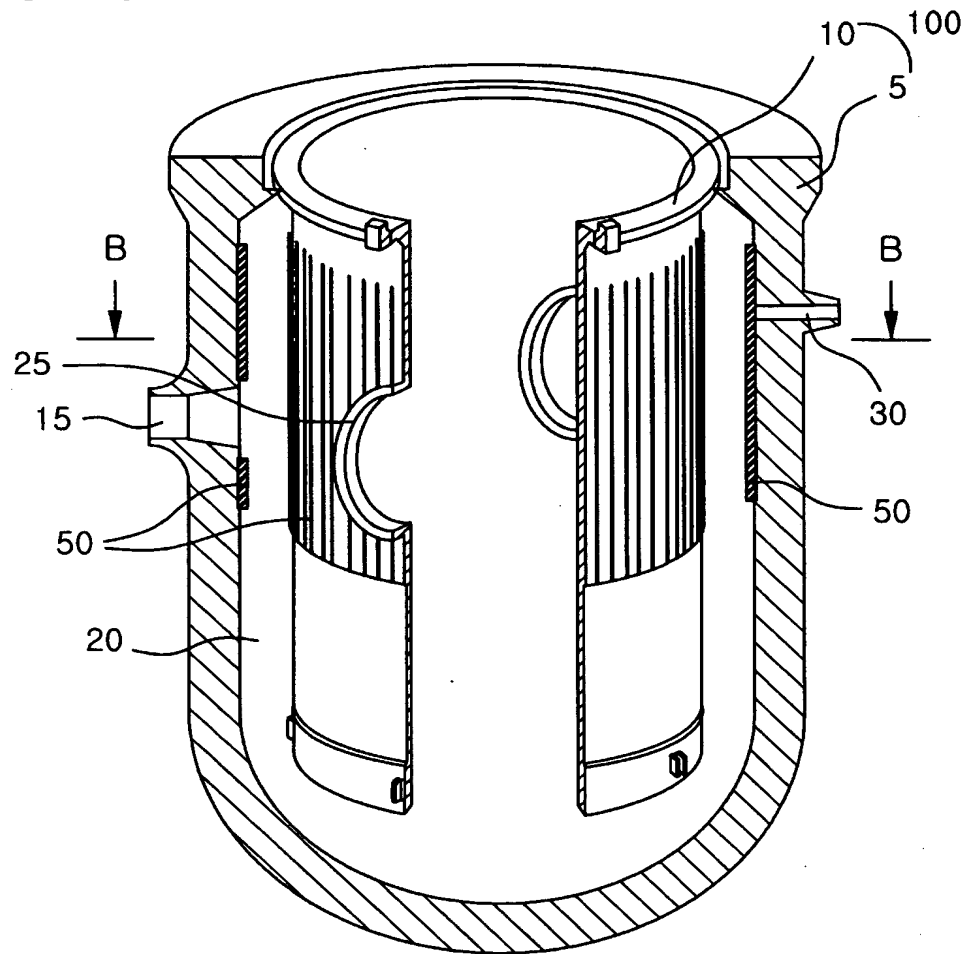


【도 3】

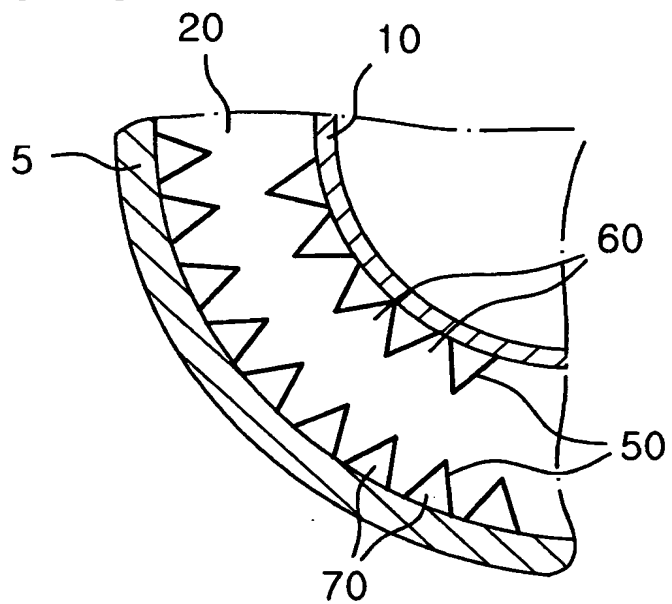




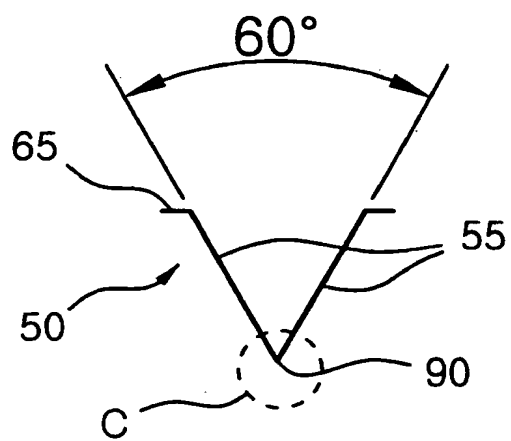
【도 4a】



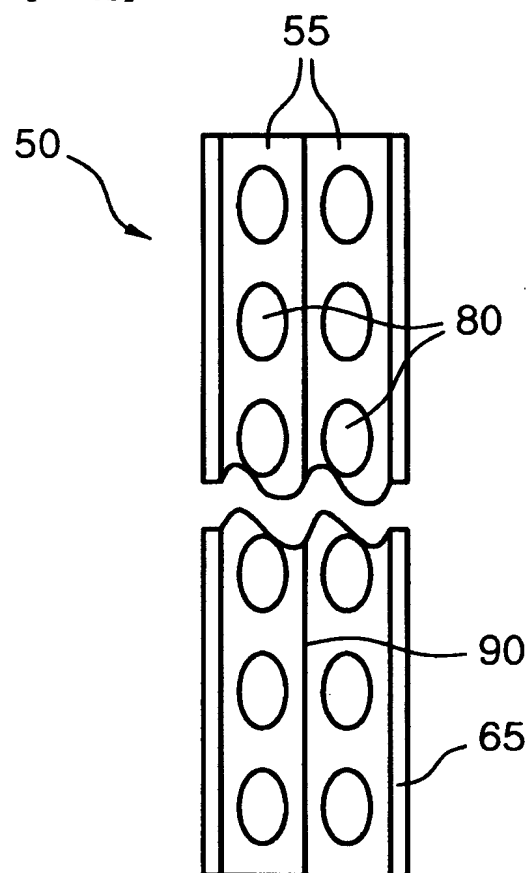
【도 4b】

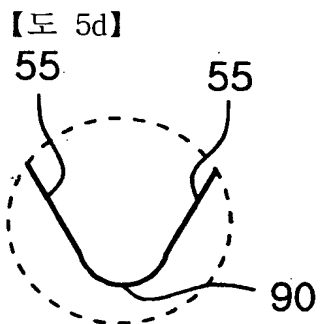
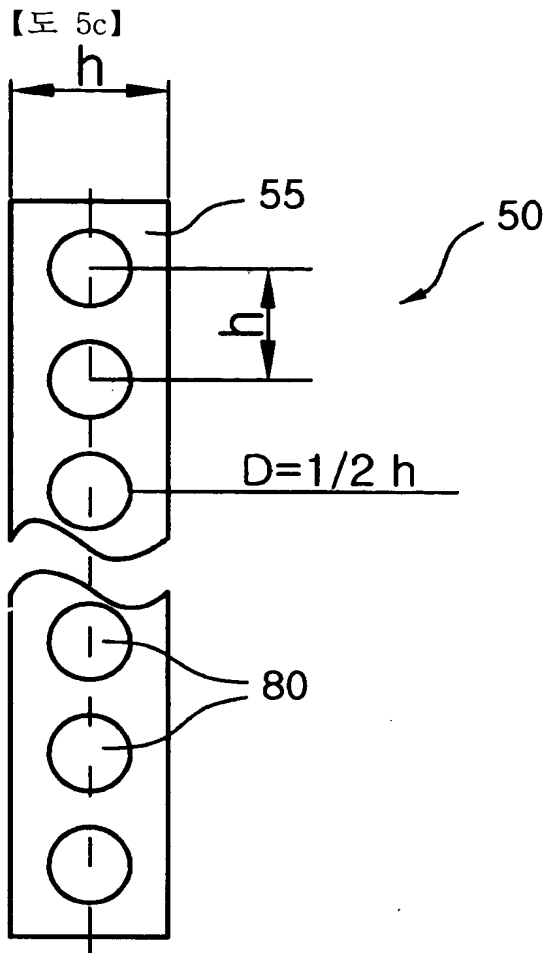


【도 5a】

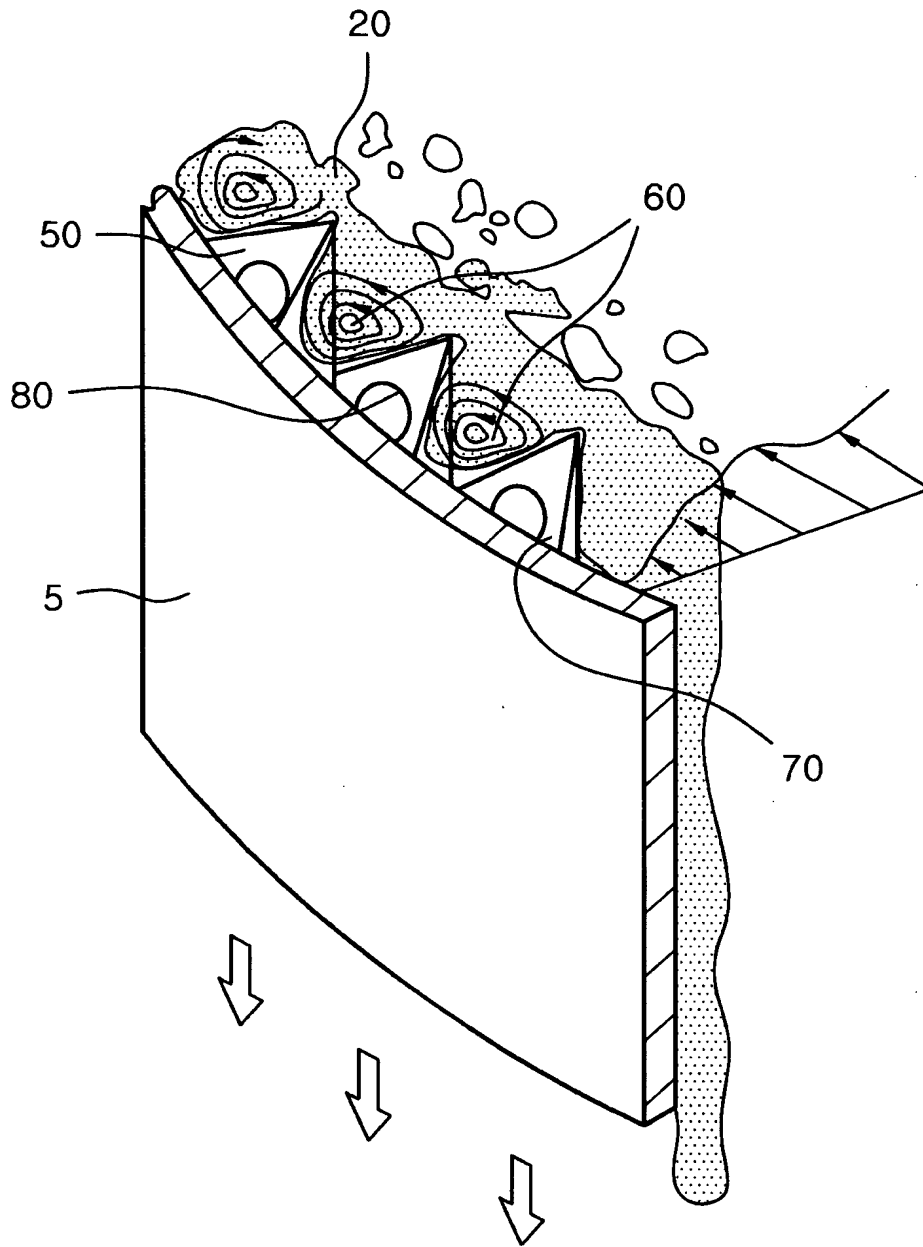


【도 5b】

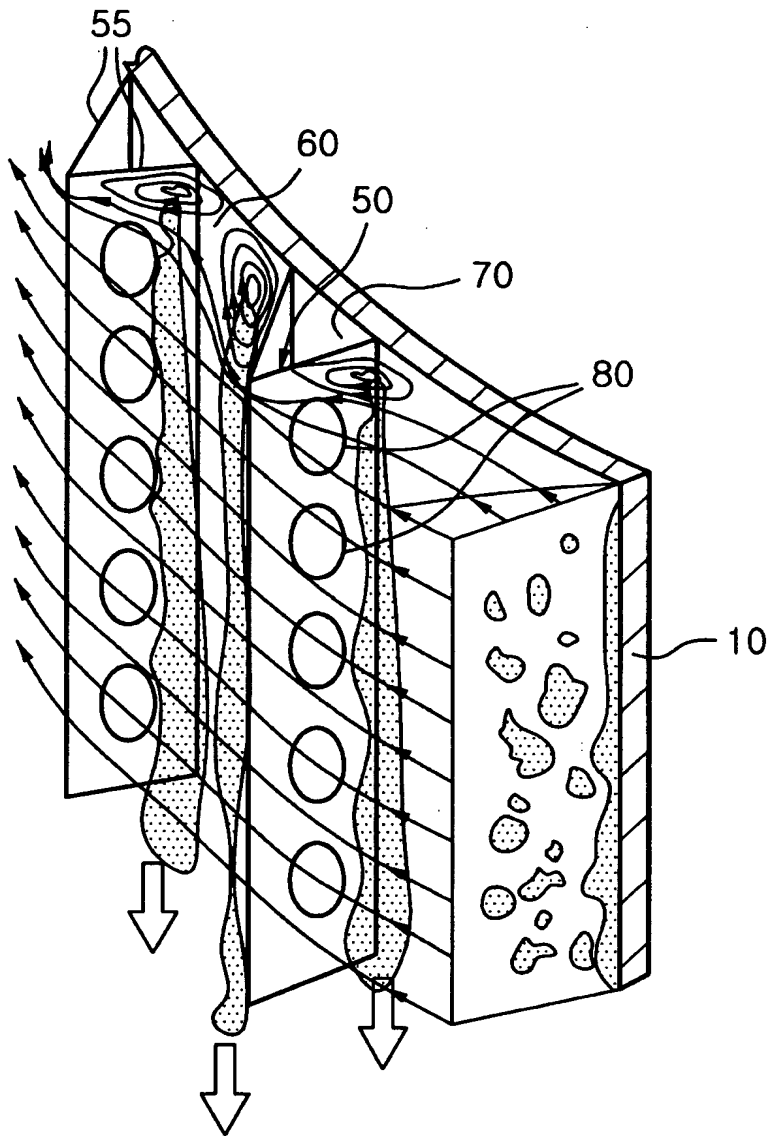




【도 6】

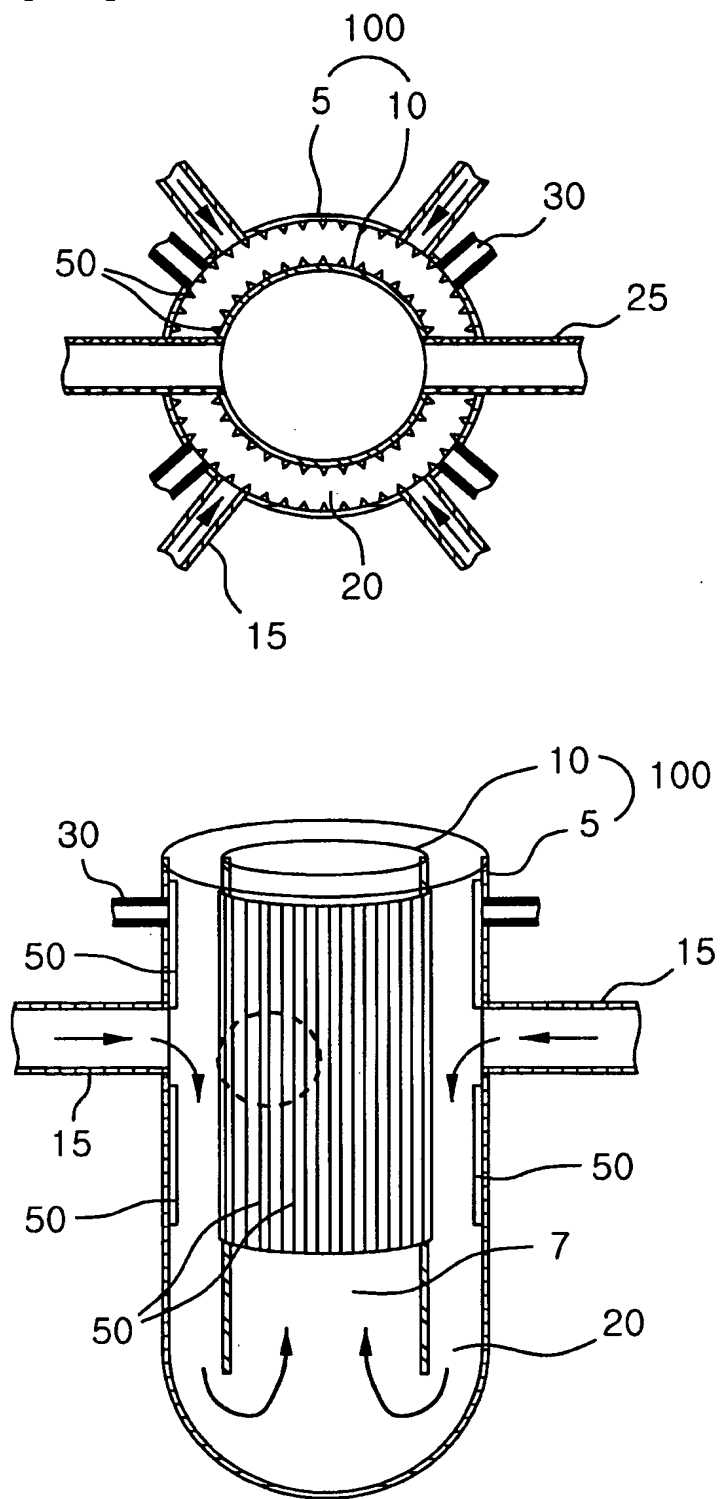


【도 7】





【도 8】



【도 9】

